

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 47 900.3

Anmeldetag: 14. Oktober 2002

Anmelder/Inhaber: Robert Bosch GmbH, Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Stromversorgung
eines elektronisch kommutierbaren Elektromotors

IPC: H 02 P 7/06

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 4. Juli 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Faust

19.08.02 Rs/rs

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Verfahren und Vorrichtung zur Stromversorgung eines elektronisch
kommutierbaren Elektromotors

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren und einer Vorrichtung zur Stromversorgung eines über eine Halbleiter-Leistungsendstufe elektronisch kommutierbaren Elektromotors, wie sie aus der DE 29 30 863 A bekannt geworden sind. Diese Druckschrift beschreibt ein Verfahren zur Laststromerfassung in einem Gleichstrom-Umkehrsteller und eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens, mit einer an eine Versorgungsspannungsquelle angeschlossenen Brückenschaltung, wobei der Laststrom aus den Strömen durch die Brückenarme ermittelt und die Strangströme durch eine elektronische Steuerungsanordnung geschaltet werden. Hierzu ist in jedem Brückenarm eine Stromerfassungseinrichtung angeordnet.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein einfaches und preiswertes Verfahren sowie eine zugehörige Schaltungsanordnung zur Steuerung, beziehungsweise Regelung der Phasenströme eines elektronisch kommutierbaren Elektromotors, vorzugsweise einer dreiphasigen elektrischen Maschine, anzugeben.

Erfindungsgemäß wird dies mit Hilfe von nur einem Stromsensor im Zwischenkreis erreicht, wobei der elektronischen Steuerungsanordnung einerseits das Signal eines Stromsensors in einer gemeinsamen Zu- oder Ableitung der Halbleiterschalter der Leistungsendstufe und andererseits die Klemmenspannungen der

einzelnen Motorstränge sowie die an der Leistungsendstufe insgesamt anliegende Spannung zugeführt werden, aus denen die elektronische Steuerungsanordnung unter logischer Einbeziehung der von ihr selbst erzeugten Ansteuersignale für die Halbleiter-Leistungsschalter den Spannungsabfall an den einzelnen Halbleiterschaltern und hieraus deren Durchlasswiderstände ermittelt, beziehungsweise die Strangströme ermittelt und steuert. Vorzugsweise ist hierbei die Leistungsendstufe mit MOSFET-Schaltern aufgebaut, deren Drain-Source-Strecken als Stromsensoren dienen. Hieraus ergibt sich eine Einsparung von Stromsensoren und somit neben einer Kosteneinsparung auch eine Verringerung der elektrischen Verluste, beispielsweise an einem Shunt. Zusätzlich erhält man eine Information über die Leitungswiderstände in den einzelnen Schaltern der Brückenzweige der Halbleiter-Leistungsendstufe.

Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn als elektronische Steuerung für die Stromversorgung ein Mikrocomputer verwendet wird, welcher zweckmäßigerweise aus der Differenz der an der Leistungsendstufe insgesamt anliegenden Spannung und der Klemmenspannung eines Motorstrangs jeweils den Spannungsabfall an dem zugehörigen Halbleiterschalter ermittelt. Alternativ können auch alle 6 Drain-Source-Spannungen direkt erfasst werden. Zur Erzeugung der Ansteuersignale für die Halbleiter-Leistungsschalter werden der elektronischen Steuerung zusätzlich vorzugsweise die Positionssignale eines Rotorpositionsgebers zugeführt. Die Leistungsendstufe ist zweckmäßigerweise als Halbbrückenschaltung in Form einer so genannten B6-Wechselrichter-Brückenschaltung aufgebaut, wobei die Klemmenspannungen der Motorstränge jeweils zwischen den Verbindungen der einander zugeordneten Halbleiterschalter abgegriffen und der elektronischen Steuerung zugeführt werden. Durch diese Maßnahmen ergibt sich ein besonders einfacher Aufbau

der Schaltungsanordnung unter Verwendung leicht zugänglicher Steuersignale.

Die Ermittlung der Durchlasswiderstände der Halbleiterschalter erfolgt zweckmäßigerweise zu definierten Zeitpunkten innerhalb der jeweiligen Taktzyklen, derart, dass transiente Einschaltvorgänge der Halbleiterschalter abgeklungen sind und das Messergebnis nicht durch kurz nach dem Ansteuern wirksame Übergangswiderstände verfälscht wird. Ebenso kann mit Hilfe der ermittelten Durchlasswiderstände und der gemessenen Ströme eine Rekonstruktion der Strangströme vorgenommen werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die angegebene Schaltungsanordnung eignen sich wegen des einfachen und preiswerten Aufbaus der Schaltung insbesondere für einen dreiphasigen, in Stern geschalteten, elektronisch kommutierten Gleichstrommotor (BLDC-Motor), wobei die einzelnen Motorstränge jeweils an den Verbindungen der einander zugeordneten Halbleiterschalter einer als B6-Wechselrichter-Brückenschaltung für den Motor (BLDC-Motor) angeschlossen sind. Das erfindungsgemäße Verfahren ist jedoch nicht auf diesen Motortyp beschränkt sondern es eignet sich auch für andere Motoren, zum Beispiel für geschaltete Reluktanzmotoren, Asynchron- oder Synchronmaschinen sowie für Transversalflussmotoren. Außerdem können auch andere Wechselrichtertypen verwendet werden, zum Beispiel so genannte H-Brücken mit getrennten Brückenzweigen für jeden Motorstrang.

Weitere Einzelheiten und vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der Beschreibung der Ausführungsbeispiele der Erfindung.

Die Zeichnungen zeigen in

Figur 1 den Schaltungsaufbau einer erfindungsgemäßen Stromversorgung eines elektronisch kommutierbaren Elektromotors,

Figur 2 den Verlauf der Steuersignalhüllkurven bei einer 120°-Blockbestromung eines dreiphasigen Elektromotors,

Figur 3a den Verlauf der Steuersignalhüllkurven für eine 180°-sinusförmige Bestromung

Figur 3b den zugehörigen Verlauf der Strangströme bei sinusförmiger 180°-Strangbestromung.

Figur 1 ist das Schaltprinzip einer Stromversorgung eines über einer Halbleiter-Leistungsendstufe elektronisch kommutierbaren Elektromotors 10 dargestellt, dessen Stator mit 12 und dessen Rotor mit 14 bezeichnet sind. Die Strangwicklungen des Stators 12 sind mit 16, 18 und 20 bezeichnet, sie führen die Strangströme I_1, I_2, I_3 .

Die Halbleiter-Leistungsendstufe zur Stromversorgung des Elektromotors 10 ist mit MOSFET-Transistoren T_1 - T_6 aufgebaut, welche zu einer Halbbrückenschaltung (B6-Wechselstrom-Brückenschaltung) verbunden sind. Die Drain-Source-Spannungen der Schalter T_1 - T_6 sind mit U_{DS1} - U_{DS6} bezeichnet. Die Schalter T_1, T_3 und T_5 sind drainseitig mit dem Pluspol einer Gleichspannungsquelle verbunden, die Source-Anschlüsse der Schalter T_2, T_4 und T_6 liegen am Minuspol der Gleichspannungsquelle mit der Spannung U . Weiterhin sind die Source-Elektroden der Schalter T_1, T_3 und T_5 einerseits mit den Drain-Elektroden der Schalter T_2, T_4 und T_6 und andererseits jeweils mit einem Anschluss der Strangwicklungen 16, 18, 20 verbunden, deren andere Anschlüsse zur Bildung einer Sternschaltung der Wicklungen zusammengeführt sind.

Zur Ansteuerung der MOSFET-Schalter T_1 - T_6 und damit zur Stromsteuerung des Elektromotors 10 sowie zur Aufbereitung der Steuersignale dient ein Mikrocomputer 22, welchem als Eingangssignale einerseits das Signal eines Stromsensors 24 in der gemeinsamen Zuleitung 26 vom Pluspol der Gleichspannungsquelle zu den Drain-Anschlüssen der Transistoren T_1 , T_3 und T_5 zugeführt wird. Andererseits erhält der Mikrocomputer 22 als weitere Eingangssignale die Klemmenspannungen U_1 , U_2 und U_3 der einzelnen Motorstränge, welche den Source-Spannungen der Schalter T_1 , T_3 , T_5 und den Drain-Spannungen der Schalter T_2 , T_4 und T_6 entsprechen. Weiterhin ist der Mikrocomputer 22 eingangsseitig mit dem Ausgang eines Rotorpositionsgebers 28 verbunden. Ausgangsseitig liefert der Mikrocomputer 22 die Ansteuersignale G_1 bis G_6 für die MOSFET-Schalter T_1 - T_6 .

Die Anordnung arbeitet folgendermaßen:

Nach dem Einschalten liegt an den Eingangsklemmen der Leistungsendstufe mit den MOSFET-Schaltern T_1 - T_6 sowie am Mikrocomputer 22 die Gleichspannung U . Die Schalter T_1 - T_6 erhalten entsprechend den in den Figuren 2 und 3a gezeigten Hüllkurven Eingangssignale und werden entsprechend diesen Signalen leitend geschaltet zur Erzeugung der Strangströme I_1 - I_3 durch die Strangwicklungen 16, 18 und 20. Bei den Steuersignalen gemäß Figur 2 handelt es um eine Blocksteuerung mit einer Bestromung von jeweils 120° , so dass die Stromkurven im Idealfall denen der Steuersignalkurven entsprechen. Die Transistoren T_1 , T_3 und T_5 sind während der Stromführungsblöcke dauernd leitend, die Größe der Ströme I_1 , I_2 und I_3 wird durch Taktung der MOSFET-Schalter T_2 , T_4 und T_6 erreicht. Bei der Bestromung gemäß den Figuren 3a und 3b werden sinusförmige Ströme I_1 , I_2 und I_3 mit einer Halbwellendauer von 180° erzeugt. Hierbei werden sowohl die eingangsseitigen MOSFET-Schalter T_1 , T_3

und T_5 wie auch die ausgangsseitigen Schalter T_2, T_4 und T_6 gepulst eingeschaltet zur Erzeugung der sinusförmigen Bestromung.

Der Mikrocomputer 22 erhält als weitere Eingangssignale ein vom Stromsensor 24 erzeugtes Signal entsprechend dem gesamten Eingangsstrom I_{ges} der Leistungsendstufe, die Klemmenspannungen U_1, U_2 und U_3 sowie ein vom Rotorpositionsgeber 28 geliefertes Signal entsprechend der Stellung des Permanentmagnetrotors 14. Aus diesen Eingangssignalen erzeugt der Mikrocomputer 22 entsprechend der vorgegebenen Bestromungsform die Ansteuersignale G_1-G_6 für die MOSFET-Schalter T_1-T_6 .

Bei der im Ausführungsbeispiel dargestellten B6-Wechselrichter-Brückenschaltung mit 6 MOSFET-Schaltern T_1 bis T_6 und einem dreiphasigen, in Stern geschalteten, elektronisch kommutierten Gleichstrommotor mit permanentmagnetischer Erregung (BLDC-Motor) werden als Eingangssignale für den Mikrocomputer 22 die an der Brücke anliegende Spannung U , sowie der jeweilige Spannungsabfall an den ausgangsseitigen MOSFET-Schaltern T_2, T_4 und T_6 gemessen, welche den Klemmenspannungen der einzelnen Motorstränge 16, 18 und 20 entsprechen. Im Mikrocomputer 22 werden hieraus die Drain-Source-Spannungen U_{DS} der Transistoren T_1-T_6 bestimmt. Es gilt: $U_{DS1}=U-U_1$; $U_{DS3}=U-U_2$; $U_{DS5}=U-U_3$; $U_{DS2}=U_1$; $U_{DS4}=U_2$; $U_{DS6}=U_3$.

Außerdem wird das Gesamtstromsignal I_{ges} am Eingang der Leistungsendstufe gemessen und es werden die logischen Ansteuersignale G_1-G_6 für die Schalter T_1-T_6 zur Stromsteuerung der Phasenströme herangezogen. Die Ansteuersignale G_1-G_6 werden im Mikrocomputer 22 gebildet und stehen somit ohne Mehraufwand zur Verfügung.

Bei der Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zunächst bestimmt, welcher der Schalter T_1 - T_6 leitet und welcher sperrt und es erfolgt die Zuweisung, in welchem Transistor genau der messbare Strom fließt, das heißt, welcher Schalter mit dem Gate-Ansteuersignal „1“ angesteuert ist. Die Schalter T_1 - T_6 führen über ihre Inversdioden auch im Freilauf Strom, jedoch ist in diesem Fall der Spannungsabfall negativ und er liegt unterhalb eines bestimmten Grenzwertes.

Die Ansteuersignale G_1 - G_6 werden im Mikrocomputer 22 unter Zuhilfenahme der Signale des Rotorpositionsgebers 28 gebildet und sind daher verfügbar. Der Gesamtstrom I_{ges} fließt also dann in einem der Schalter T_1 - T_6 , wenn dies der einzige Strom führende Schalter der drei eingangsseitigen Schalter T_1, T_3, T_5 oder der drei ausgangsseitigen Schalter T_2, T_4, T_6 ist. Weitere Stromsensoren neben dem Sensor 24 können bei dem erfindungsgemäßen Verfahren eingespart werden, da die MOSFET-Schalter T_1 - T_6 selbst als Stromsensoren herangezogen werden. Dabei wird die Eigenschaft der verwendeten Leistungsendstufe genutzt, dass im bestromten Zustand mindestens ein MOSFET-Schalter den messbaren Gesamtstrom I_{ges} führt, um den Widerstand der Drain-Source-Strecke R_{DS} in diesem MOSFET-Schalter zu ermitteln. Wenn einer der Schalter T_1 - T_6 den Strom I_{ges} führt, so

gilt für seinen Durchlasswiderstand $R_{DS} = \frac{U_{DS}}{I_{ges}}$. Innerhalb einer

elektrischen Umdrehung des Motors 10 erhält man so einen Wert für den Durchlasswiderstand jedes MOSFET-Schalters T_1 - T_6 bei jeweiliger Führung des Gesamtstromes I_{ges} . Eine temperaturbedingte Änderung der Durchlasswiderstände wird durch die häufige Aktualisierung der Messwerte erfasst. Um andere Störungseinflüsse zu minimieren können die Messwerte durch eine lineare oder nichtlineare Filterung, beispielsweise über einen Tiefpass, noch präzisiert werden. Zu den Zeitpunkten, zu denen ein Strangstrom nicht identisch ist mit dem messbaren Strom I_{ges}

kann mit Hilfe der ermittelten Drain-Source-Spannung des entsprechenden MOSFETs und dem korrespondierenden Wert für R_{DS} der Strangstrom über die Beziehung $I_{1-3} = \frac{U_{DS}}{R_{DS}}$ bestimmt werden.

Als vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn die Messung und Auswertung der benötigten Größen zu definierten Zeitpunkten vorgenommen wird, insbesondere derart, dass die Messwertaufnahme kurz nach den bekannten Einschaltzeitpunkten innerhalb eines Taktzyklus erfolgt. Dieses Verfahren gewährleistet, dass der transiente Einschaltvorgang des betroffenen MOSFET-Schalters abgeklungen ist und das Messergebnis nicht durch den Übergangswiderstand beeinflusst wird, welcher kurz nach dem Ansteuern wirksam ist.

Die Messung der Drain-Source-Spannungen U_{DS} der MOSFET-Schalter T_1 - T_6 erfolgt vorzugsweise über einen Spannungsteiler aus der Reihenschaltung eines ohmschen Widerstandes und eines Kondensators, wobei die Spannungen am Verbindungspunkt der Bauelemente über einen Verstärker und einen Analog-Digital-Wandler mit der Auswerteschaltung im Mikrocomputer 22 zugeführt wird. Der Analog-Digital-Wandler ist vorzugsweise Teil des Mikrocomputers.

Eine übliche Taktfrequenz für die Ansteuerung der MOSFET-Schalter T_1 - T_6 liegt bei 20 kHz. Um genaue Messergebnisse bei der Bestimmung der Spannungsabfälle U_{DS} an den Drain-Source-Strecken der MOSFET-Schalter T_1 - T_6 zu erzielen ist es zweckmäßig, wenn die Motorströme I_1 - I_3 bei etwa 10 A oder darüber liegen. Derartige Motoren werden beispielsweise mit gutem Erfolg als Antriebsmotoren in Kraftfahrzeugen eingesetzt, wobei wegen der hohen Stückzahlen Maßnahmen zur Kostenreduzierung, im vorliegenden Fall insbesondere durch Reduzierung der Anzahl der Stromsensoren, besonders wichtig sind.

19.08.02 Rs/rs

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Ansprüche

1. Verfahren zur Stromversorgung eines über eine Halbleiter-Leistungsendstufe elektronisch kommutierbaren Elektromotors, insbesondere eines dreiphasigen Gleichstrommotors, mit einer Anordnung zur Ermittlung des vom Motor aufgenommenen Stromes und mit einer elektronischen Steuerungsanordnung für die Strangströme, dadurch gekennzeichnet, dass der elektronischen Steuerungsanordnung (22) einerseits das Signal eines Stromsensors (28) in einer gemeinsamen Zu- oder Ableitung (26) der Halbleiterschalter (T_1 - T_6) der Leistungsendstufe und andererseits die Klemmenspannungen (U_1, U_2, U_3) der einzelnen Motorstränge (16, 18, 20) sowie die an der Leistungsendstufe insgesamt anliegende Spannung (U) zugeführt werden, aus denen die elektronische Steuerungsanordnung (22) unter logischer Einbeziehung der von ihr selbst erzeugten Ansteuersignale (G_1 - G_6) für die Halbleiter-Leistungsschalter (T_1 - T_6) deren Durchlasswiderstände (R_{DS}) ermittelt und die Strangströme (I_1, I_2, I_3) bestimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronische Steuerung (22) aus der Differenz der an der Leistungsendstufe insgesamt anliegenden Spannung (U) und der Klemmenspannung (U_1, U_2, U_3) eines Motorstrangs (16, 18, 20) den Spannungsabfall (U_{DS}) an der Drain-Source-Strecke des zugehörigen Halbleiterschalters (T_1 - T_6) errechnet.

3. Verfahren zur Stromversorgung eines über eine Halbleiter-Leistungsendstufe elektronisch kommutierbaren Elektromotors, insbesondere eines dreiphasigen Gleichstrommotors, mit einer Anordnung zur Ermittlung des vom Motor aufgenommenen Stromes und mit einer elektronischen Steuerungsanordnung für die Strangströme, dadurch gekennzeichnet, dass der elektronischen Steuerungsanordnung einerseits das Signal eines Stromsensors (28) in einer gemeinsamen Zu- oder Ableitung (26) der Halbleiterschalter (T_1 - T_6) der Leistungsendstufe und andererseits die Spannungen (U_{DS1} - U_{DS6}) an den einzelnen Halbleiterschaltern (T_1 - T_6) zugeführt werden, aus denen die elektronische Steuerungsanordnung (22) unter logischer Einbeziehung der von ihr selbst erzeugten Ansteuersignale (G_1 - G_6) für die Halbleiterleistungsschalter (T_1 - T_6) deren Durchlasswiderstände (R_{DS1} - R_{DS6}) ermittelt und die Strangströme (I_1, I_2, I_3) bestimmt.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsendstufe als Schalter MOSFET-Transistoren (T_1 - T_6) aufweist, deren Drain-Source-Strecken als Stromsensoren verwendet werden unter Zuhilfenahme der Spannungsabfälle (U_{DS1} - U_{DS6}) an den einzelnen Halbleiterschaltern (T_1 - T_6) sowie der ermittelten Durchlasswiderstände (R_{DS1} - R_{DS6}).

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als elektronische Steuerung ein Mikrocomputer (22) verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der elektronischen Steuerung (22) zur Erzeugung der Ansteuersignale (G_1 - G_6) für die Halbleiter-Leistungsschalter (T_1 - T_6) die Positionssignale eines Rotorpositionsgebers (28) zugeführt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsendstufe als Halbbrückenschaltung (B6-Wechselrichter-Brückenschaltung) aufgebaut ist und die Klemmenspannungen (U_1 - U_3) der Motorstränge jeweils zwischen den Verbindungen der einander zugeordneten Halbleiterschalter (T_1 - T_2 , T_3 - T_4 , T_5 - T_6) abgegriffen und der elektronischen Steuerung (22) zugeführt werden.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Bestimmung der Durchlasswiderstände (R_{DS}) der Halbleiterschalter (T_1 - T_6) zu definierten Zeitpunkten innerhalb der jeweiligen Taktzyklen erfolgt, wenn der Einschaltvorgang des Halbleiterschalters (T_1 - T_6) abgeklungen ist.

9. Vorrichtung zur Stromversorgung eines über eine Halbleiter-Leistungsendstufe elektronisch kommutierbaren Elektromotors, insbesondere eines dreiphasigen Motors, mit einer Anordnung zur Bestimmung der vom Motor aufgenommenen Ströme und mit einer elektronischen Steuerungsanordnung für die Strangströme, vorzugsweise zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die elektronische Steuerungsanordnung als Mikrocomputer (22) ausgebildet ist, an dem das Signal eines Stromsensors (24) in einer gemeinsamen Zu- oder Ableitung (26) der Halbleiterschalter (T_1 - T_6) der Leistungsendstufe sowie die Klemmenspannungen (U_1 , U_2 , U_3) der einzelnen Motorstränge (16, 18, 20) und die an der Leistungsendstufe insgesamt anliegende Spannung (U) oder die Spannungen (U_{DS1} - U_{DS6}) an den einzelnen Halbleiter-Leistungsschaltern (T_1 - T_6) und ferner das Signal eines Rotorpositionsgebers (28) als Eingangssignale anliegen, und dessen Ausgänge mit den Steuerelektroden (G_1 - G_6) der Halbleiterschalter (T_1 - T_6) verbunden sind.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsstufe als Halbbrückenschaltung, insbesondere als B6-Wechselrichter-Brückenschaltung für einen dreiphasigen, in Stern geschalteten, elektronisch kommutierbaren Gleichstrommotor (10;BLDC-Motor) aufgebaut ist, wobei die einzelnen Motorstränge (16,18,20) jeweils zwischen den Verbindungen der einander zugeordneten Halbleiterschalter (T_1 - T_2 , T_3 - T_4 , T_5 - T_6) angeschlossen sind.

19.08.02 Rs/rs

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 STUTTGART

Verfahren und Vorrichtung zur Stromversorgung eines elektronisch
kommutierbaren Elektromotors

Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Stromversorgung eines über eine Halbleiter-Leistungsendstufe elektronisch kommutierbaren Elektromotors (10) vorgeschlagen, welche eine Anordnung zur Ermittlung der vom Motor aufgenommenen Ströme und eine elektronische Steuerung für die Strangströme des Motors aufweist. Hierzu werden der elektronischen Steuerung (22) einerseits das Signal eines Stromsensors (24) in einer gemeinsamen Zuleitung (26) der Halbleiterschalter (T_1 - T_6) der Leistungsendstufe und andererseits die Klemmenspannungen (U_1, U_2, U_3) der einzelnen Motorstränge (16, 18, 20) sowie die an der Leistungsendstufe insgesamt anliegende Spannung (U) zugeführt, aus denen die elektronische Steuerungsanordnung (22) dann unter logischer Einbeziehung der von ihr selbst erzeugten Ansteuersignale (G_1 - G_6) für die Halbleiter-Leistungsschalter (T_1 - T_6) den Spannungsabfall (U_{DS}) an den einzelnen Halbleiterschaltern (T_1 - T_6) ermittelt. Aus dem Spannungsabfall an einem bestimmten Halbleiterschalter kann dessen Durchlasswiderstand (R_{DS}) ermittelt werden, so dass zusätzliche Stromsensoren in den einzelnen Strängen zur Steuerung der Strangströme (I_1 - I_3) entfallen können.

1/2

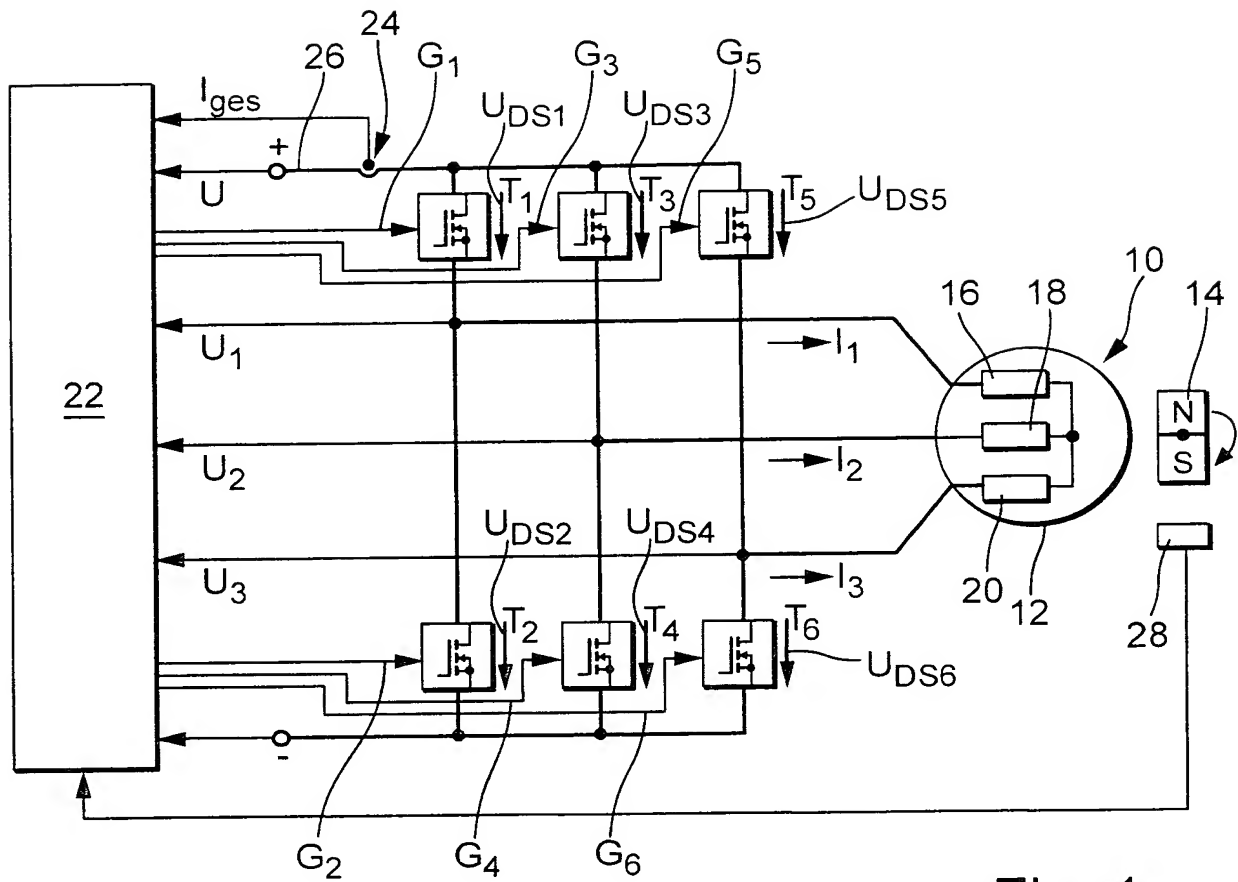


Fig. 1

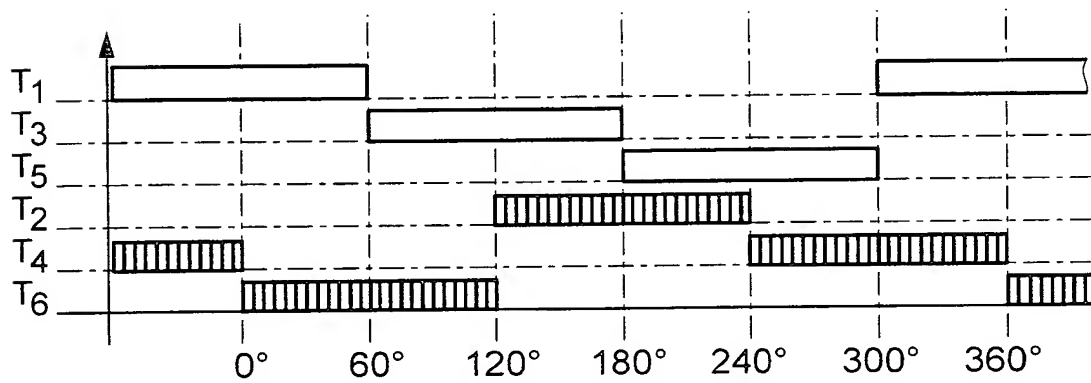


Fig. 2

2/2

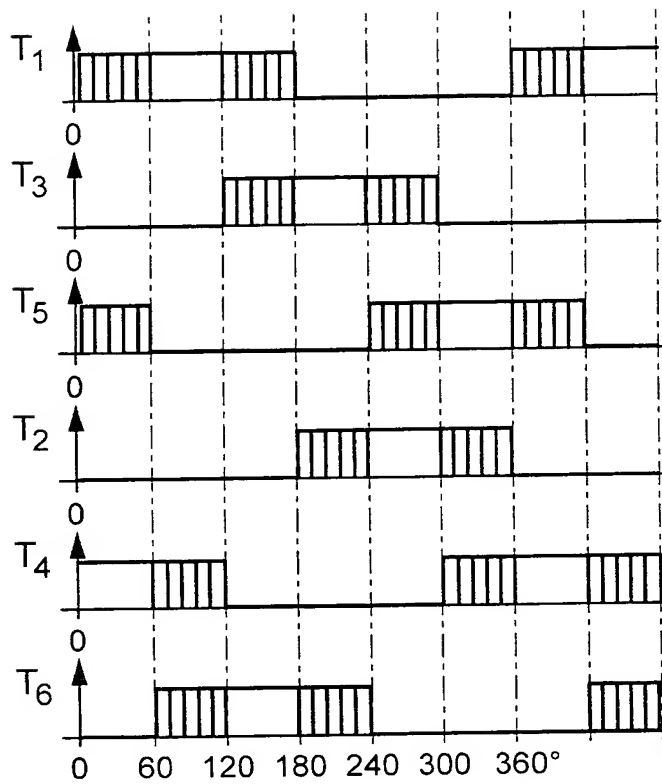


Fig. 3a

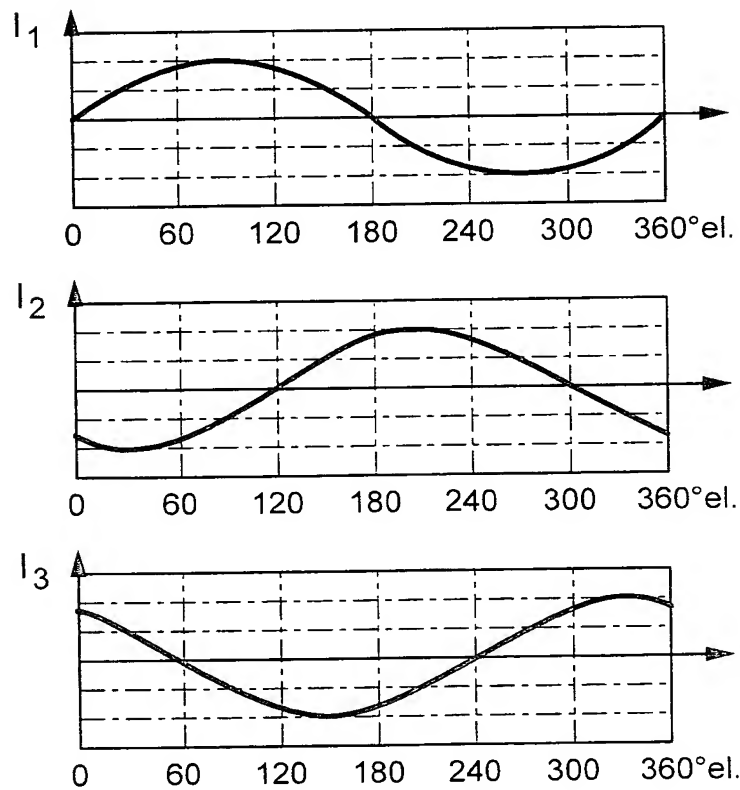


Fig. 3b